

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02424

研究課題名（和文）磁歪の小さな鉄基合金単結晶の逆磁歪効果の発現機構解明と巨大逆磁歪材料の創製

研究課題名（英文）Mechanism of inverse magnetostrictive effect in iron-based alloy single crystals with small magnetostriction and development of inverse magnetostrictive materials

研究代表者

藤枝 俊 (Fujieda, Shun)

大阪大学・大学院工学研究科・特任准教授（常勤）

研究者番号：60551893

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：Fe-Ga合金の逆磁歪効果を利用した振動発電は、身の回りの振動を電気エネルギーに変換できるエネルギーハーベスティング技術として注目されている。本研究では、まず、Fe-Ga合金と比較して磁歪は小さいが飽和磁化および磁化率は大きいFe-Si合金に着目し、現在最も有望視されているユニモルフU字型デバイスを用いて、その振動発電特性に及ぼす結晶方位の影響を明らかにした。また、逆磁歪効果の評価システムの構築にも取り組み、逆磁歪効果に起因した磁束密度変化の直接測定に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、振動発電用の材料である逆磁歪材料として、磁歪の大きな磁歪材料の応用が注目されてきたが、本研究により磁歪の小さい材料でも応用の可能性があることが明らかになった。また、本研究で独自に構築した評価システムにより、逆磁歪効果の詳細な検討が可能であることを示した。これらの成果により逆磁歪材料の開発が進捗し、振動発電デバイスの多様な利用方法および利用環境に合わせて最適な材料が選択できるようになれば、振動発電エナジーハーベスティングのさらなる普及が期待される。

研究成果の概要（英文）：Vibration energy harvesting using the inverse magnetostrictive effect of Fe-Ga alloys has attracted significant attention, because it can generate electrical energy from ambient vibration. The Fe-Si alloys show smaller magnetostriction when compared with Fe-Ga alloys. However, the saturation magnetization and magnetic susceptibility of the former are larger than those of the latter. In this study, the influence of crystal orientation of an Fe-Si alloy on vibration power generation properties was investigated using a U-shaped unimorph device. In addition, we also developed an evaluation system of the inverse magnetostrictive effect. The change in magnetic flux density due to the inverse magnetostrictive effect was directly evaluated by this system.

研究分野：磁性材料

キーワード：磁性・電子・情報材料 逆磁歪効果 振動発電

1. 研究開始当初の背景

磁性体に磁場を印加すると外形が歪む磁歪効果の逆効果、すなわち、磁性体に応力を印加すると磁気的性質が変化する現象は逆磁歪効果と呼ばれる。逆磁歪効果を利用した振動発電エナジーハーベスティングは身の回りの振動から無線送信が可能な数 mW の電力を高効率に発電できるため、IoT (Internet of Things) デバイス用のメンテナンスフリーの小型電源を中心として多岐にわたる応用範囲での活用が期待されている^{1,2)}。

逆磁歪効果を利用した振動発電では、コイルの中に磁性体を配置し、バイアス磁場を印加する。磁性体が振動により圧縮されたり引張られたりすると、逆磁歪効果により磁化する。つまり、コイルを貫く磁束が変化するため Faraday の法則に基づき電磁誘導により誘導起電力が得られる。現在、振動発電用の材料である逆磁歪材料として磁歪の大きな Fe-Ga 合金が注目されている¹⁻³⁾。しかし、その逆磁歪効果による磁束密度変化は既に理論上限値である飽和磁化の 80 % 以上であり、新材料の開発が熱望されている。

本研究では、Fe-Ga 合金と比較して、磁歪は小さいが、飽和磁化および磁化率は大きい Fe-Si 合金に着目する。<100>方向に配向した Fe-Si 合金多結晶の磁化曲線は応力印加で敏感に変化することが報告されており⁴⁾、逆磁歪効果による顕著な磁束密度変化が期待できる。また、Fe-Si 合金単結晶の片持ち梁型デバイスの振動発電試験により、逆磁歪効果による 0.4 T 程度の比較的大きな磁束密度変化が報告されている⁵⁾。Fe-Si 合金の振動発電への応用に向けて、発電特性と結晶方位の関係に影響に興味を持たれる。

2. 研究の目的

本研究では、Fe-Si 合金の振動発電特性に及ぼす結晶方位の影響を明らかにする。また、逆磁歪効果の詳細な検討に向けた評価システムの構築を目的とする。

3. 研究の方法

Fe-Si 合金の振動発電特性と結晶方位の関係を調べるために、圧延後の熱処理により<100>磁化容易軸を圧延方向に配向させた方向性電磁鋼板 (JFE スチール株式会社製 35JG135) を逆磁歪材料として用いて振動発電試験を行った (図 1 参照)。具体的には、方向性電磁鋼板の圧延方向と試料の長手方向が平行 (RD) および垂直 (TD) になるように長さ 16 mm × 幅 4 mm × 厚さ 0.35 mm の板状試料を切り出した。また、長さ 5 mm × 幅 5 mm × 厚さ 0.35 mm の RD 試料および TD 試料を用いて、磁歪測定を行った。その結果、RD 試料および TD 試料の飽和磁歪 λ_s は 17 ppm および 9 ppm 程度であった。

逆磁歪効果の評価システムの構築には、圧延ままの Fe-70 at%Co 合金 (東北特殊鋼提供) 多結晶試料を用いた。この Fe-Co 合金の λ_s は 130 ppm 程度であった。

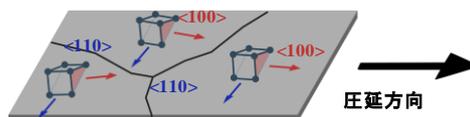


図 1 方向性電磁鋼板の圧延方向と結晶方位の関係

4. 研究成果

(1) Fe-Si 合金の振動発電特性に及ぼす結晶方位の影響

Fe-Si 合金の振動発電試験には、現在最も有望視されているユニモルフ U 字型デバイスを用いた。その写真を図 2(a) に示す^{6,7)}。このデバイスでは、板状の逆磁歪材料を貼り付けたユニモルフコアに巻き数 3638 ターンの空芯コイルを取り付け、U 字型の開口部に設置した永久磁石でバ

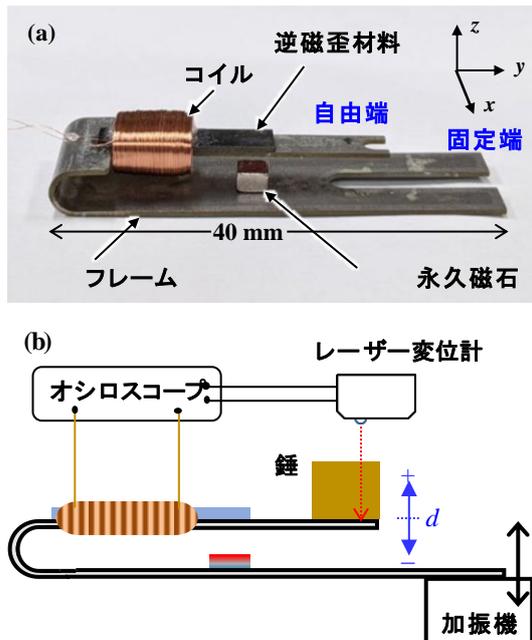


図2 (a)ユニモルフ U 字型デバイスの写真および(b)それを用いた振動発電試験方法の概念図^{6,7)}

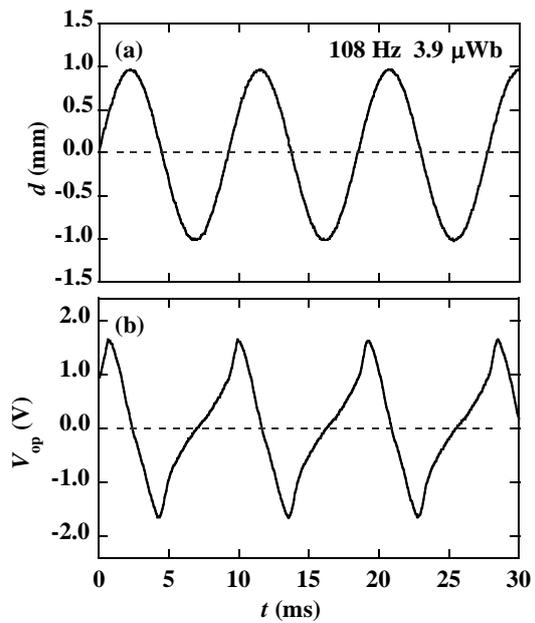


図3 RD 試料を搭載したデバイスの (a)自由端変位 d および(b)コイルの開放電圧 V_{op} の時間 t 変化¹⁰⁾

イアス磁場を印加する。図 2(b)に示すように、デバイスの固定端を加振機で z 方向に強制振動させて、その際の自由端変位をレーザー変位計で測定した。デバイスの振動により自由端が z 方向に振動すると、逆磁歪材料の y 方向に引張りおよび圧縮応力が交互に印加される。そこで、RD 試料および TD 試料の長手方向が y 方向となるようにデバイスに設置した。また、ユニモルフ U 字型デバイスの振動発電特性はバイアス磁場の影響を強く受けるので^{8,9)}、RD 試料および TD 試料のそれぞれの最適バイアス磁場である $3.9 \mu\text{Wb}$ および $2.8 \mu\text{Wb}$ で試験を行った。自由端に設置した錘の重量を変化させて、各デバイスの機械共振周波数を 108 Hz に調整した。振動発電試験結果の例として、RD 試料を搭載したデバイスを 108 Hz で強制振動させた場合の(a)自由端変位 d および(b)コイルの開放電圧 V_{op} の時間 t 変化を図 3 に示す¹⁰⁾。 $d-t$ 曲線は加振機と同じ 108 Hz で振動する。また、 $V_{op}-t$ 曲線もほぼ同じ周波数で振動する。つまり、振動に起因した開放電圧の発生が確認された。

Faraday の法則より、 $V_{op}-t$ 曲線から ΔB を求めることができる。しかし、このデバイスでは逆磁歪材料とフレームにコイルを巻き付けているので、 $V_{op}-t$ 曲線はフレームの寄与を含む。そこで、逆磁歪材料を貼り付けたデバイスの磁束変化から逆磁歪材料無しのデバイスの値を差し引くことで、Fe-Si 合金試料のみの ΔB を評価した。図 4 に RD 試料および TD 試料の自由端変位 d と ΔB の関係を示す¹⁰⁾。RD 試料の ΔB は Δd の増加に伴い増大する。また、比較的飽和磁歪 λ_s の大きい RD 試料の ΔB は比較的 λ_s の小さい TD 試料の値よりも Δd に敏感であり、同じ Δd で比較すると前者の ΔB は後者の値よりも大きい。つまり、Fe-Si 合金は λ_s が大きな方位で大きな ΔB を示すことが明確になった。

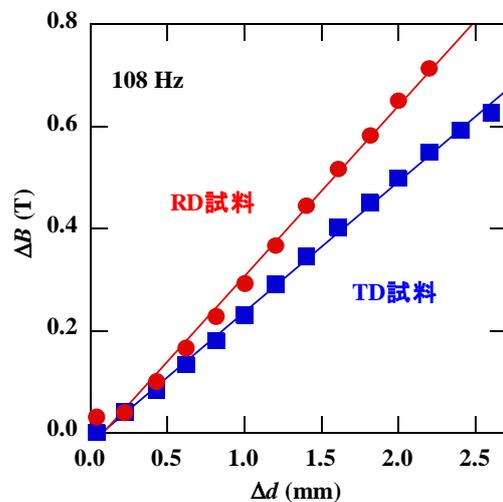


図4 RD 試料および TD 試料の磁束密度変化 ΔB と自由端変位 Δd の関係¹⁰⁾

(2) 逆磁歪効果の評価システムの構築

前節で述べた様に、逆磁歪材料をユニモフルU字型デバイスに搭載して振動発電試験を行うことにより、磁束密度変化 ΔB を評価できる。しかし、デバイスに搭載した状態の逆磁歪材料に振動で生じる応力は不均一である¹¹⁾。また、バイアス磁場はフレームの磁気回路を通じて逆磁歪材料に印加されるため、その大きさは明確でない。さらに、振動でフレームと永久磁石の距離が変化するとバイアス磁場も変化するので、 ΔB はその影響を受ける⁹⁾。このような障害により、振動発電試験で得られる ΔB だけでは逆磁歪効果の詳細な検討は困難と考え、独自の評価システムを構築した。その写真を図5に示す¹²⁾。このシステムは、引張り試験機と磁場印加コイルで構成される。逆磁歪効果は非常に小さな応力で生じるため、試料をセッティングする際に生じる僅かな応力でも影響を受けるが、このシステムではピックアップコイルおよび歪みゲージを取り付けた試料を補助治具を用いてセットする。これにより、同一試料の応力中磁化測定、応力中磁歪測定、磁場中引張り試験および逆磁歪効果の直接測定を同一セッティングで行えるため、逆磁歪効果の詳細かつ多角的評価が可能になる。

本システムを用いた逆磁歪効果の評価の例として、一定磁場中での応力印加による逆磁歪効果に起因した磁化変化 ΔM の評価に関する成果を述べる。まず、Fe-Co 合金多結晶試料の引張り応力印加前後の磁化曲線を図6(a)に示す¹³⁾。Fe-Co 合金は正の飽和磁歪 λ_s を有しているため、引張り応力を印加すると磁化曲線の立ち上がりは急峻となり、低磁場で飽和する。また、残留磁化は増大する。一方、引張り応力を印加しても、飽和磁化および保磁力はほとんど変化しない。磁場増加過程の磁化曲線において、引張り応力印加状態の磁化から無応力印加状態の値を差し引くことで、一定磁場中での応力印加による逆磁歪効果に起因した $\mu_0 \Delta M$ を間接的に評価した。その値 ($\mu_0 \Delta M_{\text{indirect}}$) を図6(b)に示す¹³⁾。ゼロ磁場近傍において $\mu_0 \Delta M_{\text{indirect}}$ は負であるが、印加磁場の増加に伴い増大し、保磁力近傍の磁場でゼロになる。さらに印加磁場が増大すると 13 mT 近傍で 0.4 T 程度の極大値を示した後、緩やかに減少する。

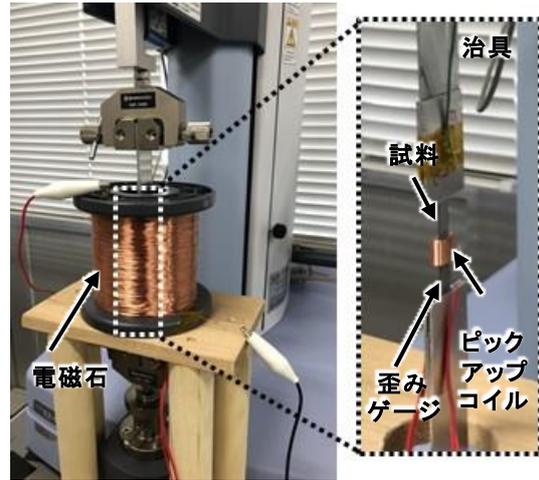


図5 引張り試験機と电磁石を組み合わせて構築した逆磁歪効果の評価システムの外観写真(左)および試料周辺の拡大写真(右)¹²⁾

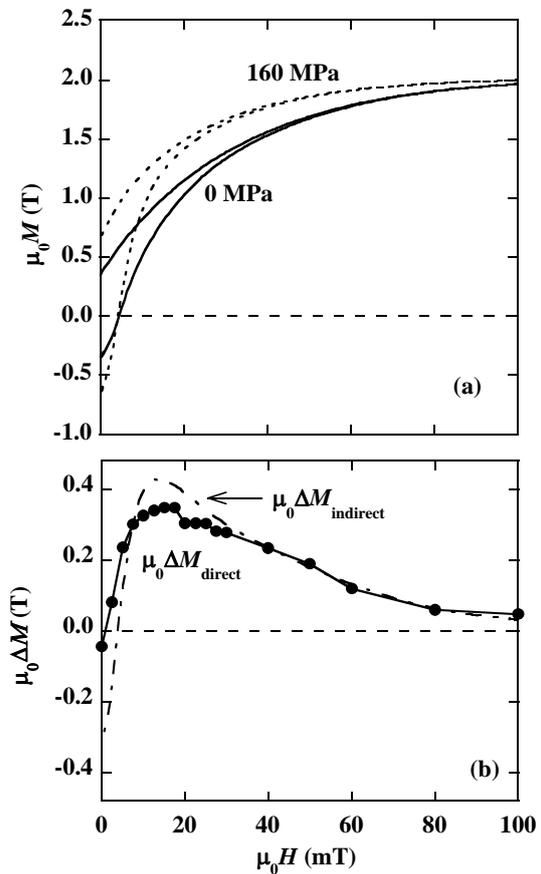


図6 (a) Fe-Co 合金多結晶試料の引張り応力印加前後の磁化曲線。(b) 逆磁歪効果に起因した磁化変化の間接測定 ($\mu_0 \Delta M_{\text{indirect}}$) および直接測定 ($\mu_0 \Delta M_{\text{direct}}$) の結果。¹³⁾

本システムでは、前述の間接測定後に連続して、同一試料および同一セッティングで一定磁場中での応力印加による逆磁歪効果に起因した $\mu_0\Delta M$ の直接測定 ($\mu_0\Delta M_{\text{direct}}$) も可能である。例として、図 7 に、引張り応力 σ 、ピックアップコイルに生じる電圧 V およびそれから求めた磁化変化 $\mu_0\Delta M$ の時間 t 変化を示す¹³⁾。試料に -100 mT の磁場を印加した後、15 mT の一定磁場を印加した状態で、約 2 秒で 160 MPa の引張り応力を印加する。その際にピックアップコイルに生じる電圧を測定し、 $\mu_0\Delta M_{\text{direct}}$ を評価した。この測定を異なる一定磁場下で行った結果を図 6(b)に示す¹³⁾。 $\mu_0\Delta M_{\text{direct}}$ は比較的高磁場側では $\mu_0\Delta M_{\text{indirect}}$ と同程度の値を示す。しかし、 $\mu_0\Delta M_{\text{direct}}$ の極大値は $\mu_0\Delta M_{\text{indirect}}$ の値より小さい。また、ゼロ磁場における値も大きく異なる。図 6(a)の磁化曲線と比較すると、ヒステリシスが比較的大きい磁場領域において、 $\mu_0\Delta M_{\text{direct}}$ と $\mu_0\Delta M_{\text{indirect}}$ の値は異なる。このことは、磁壁の移動過程が磁場および応力の印加の順序やそれらの印加速度の影響を受けることを示唆している。

<引用文献>

- 1) T. Ueno, AIP Adv., **9** (2019) 035018.
- 2) 上野敏幸, 応用物理, **89** (2020) 82.
- 3) 藤枝 俊, 栢 修一郎, 川又 透, 志村玲子, 石山和志, 福田承生, 鈴木 茂, 日本金属学会会報 までりあ, **59** (2020) 10.
- 4) O. Perevertov and R. Schäfer, J. Phys. D: Appl. Phys., **47** (2014) 185001.
- 5) F. Osanai, S. Hashi, S. Fujieda, and K. Ishiyama, Proc. 24th Soft Mag. Mater. Conf. (2019) P-071.
- 6) 藤枝 俊, 鈴木 茂, 環境発電ハンドブック 第2版, 第3編, 第1章 (2021) pp. 141-149.
- 7) 藤枝 俊, 生産と技術, **74** (2022) 11.
- 8) S. Inoue, T. Okada, S. Fujieda, F. Osanai, S. Hashi, K. Ishiyama, S. Suzuki, S. Seino, T. Nakagawa, and T. A. Yamamoto, AIP Adv., **11** (2021) 035021.
- 9) T. Sugiyama, T. Okada, S. Fujieda, S. Seino, T. Nakagawa, Y. Ohishi, and H. Muta, IEEE Trans. Magn., **59** (2023) 8000906.
- 10) T. Okada, S. Fujieda, S. Hashi, K. Ishiyama, S. Suzuki, S. Seino, T. Nakagawa, and T. A. Yamamoto, Mater. Trans., **62** (2021) 1798.
- 11) T. Takahashi, R. Simura, S. Fujieda, T. Kawamata, S. Suzuki and T. Fukuda, Jpn. J. Appl. Phys., **58** (2019) 106508.
- 12) 藤枝俊, 岡田拓, 栢修一郎, 石山和志, 鈴木茂, 太田元基, 清野智史, 中川貴, 日本磁気学会会報 まぐね, **19** (2024) 51.
- 13) T. Okada, S. Fujieda, S. Seino, and T. Nakagawa, IEEE Trans. Magn., **59** (2023) 2501205.

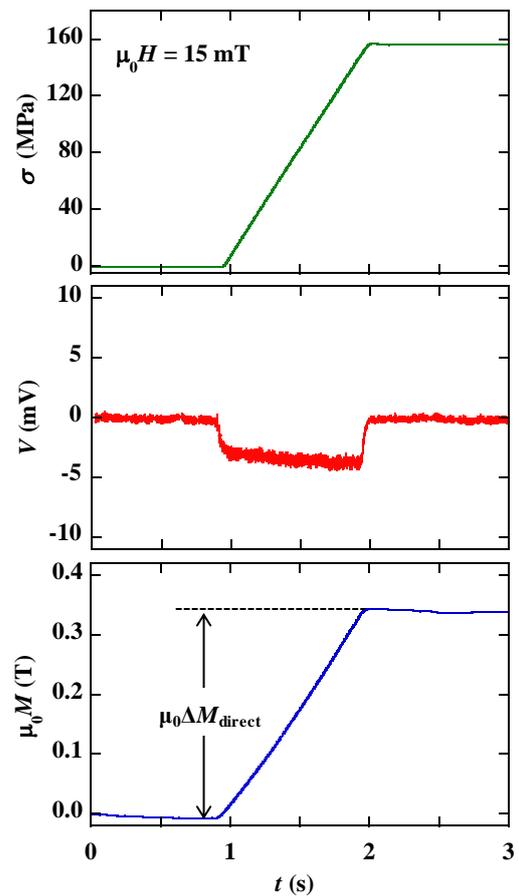


図 7 Fe-Co 合金多結晶試料の逆磁歪効果の直接測定結果。15 mT の一定磁場中における(a)引張り応力 σ 、(b)電圧 V および(c)磁化 $\mu_0\Delta M$ の時間 t 変化。¹³⁾

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Sugiyama Taichi, Okada Taku, Fujieda Shun, Seino Satoshi, Nakagawa Takashi, Ohishi Yuji, Muta Hiroaki	4. 巻 59
2. 論文標題 Application of Various Materials With Negative Saturation Magnetostriction to Vibration Power Generation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2023.3285254	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kosugi Shizuka, Hisamatsu Miu, Ohishi Yuji, Muta Hiroaki, Seino Satoshi, Nakagawa Takashi, Fujieda Shun	4. 巻 64
2. 論文標題 Enhancement of Magnetostrictive Properties of CoFe204 by Partial Substitution of Cu for Co	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 2014~2017
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.MT-M2023063	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Okada Taku, Fujieda Shun, Seino Satoshi, Nakagawa Takashi	4. 巻 59
2. 論文標題 Evaluation of Magnetic Flux Density Change for Vibration Energy Harvesting: Comparison Between Direct and Indirect Measurements	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1~5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2023.3283960	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤枝 俊	4. 巻 74
2. 論文標題 磁性と弾性の相互作用を利用した振動発電エナジーハーベスティング	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生産と技術	6. 最初と最後の頁 11~16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 柏木 春穂、藤枝 俊、清野 智史、中川 貴	4. 巻 6
2. 論文標題 固相反応法で作製したCoFe ₂ -xMnxO ₄ の結晶構造と磁気特性に及ぼすヤーン・テラー効果の影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本磁気学会論文特集号	6. 最初と最後の頁 20 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20819/msj.tmsj.22TR508	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okada Taku, Fujieda Shun, Hashi Shuichiro, Ishiyama Kazushi, Suzuki Shigeru, Seino Satoshi, Nakagawa Takashi, Yamamoto Takao A.	4. 巻 62
2. 論文標題 Vibration Power Generation Property of U-Shaped Unimorph Device Using Grain-Oriented Electrical Steel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 1798 ~ 1801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2021079	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Inoue, T. Okada, S. Fujieda, F. Osanai, S. Hashi, K. Ishiyama, S. Suzuki, S. Seino, T. Nakagawa, T. A. Yamamoto	4. 巻 11
2. 論文標題 High-performance vibration power generation using polycrystalline Fe-Co-based alloy due to large inverse magnetostrictive effect	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 035021 ~ 035021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0038903	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 岡田 拓、藤枝 俊、清野 智史、中川 貴、Tang Zansong、Huang Haodong、鈴木 清策
2. 発表標題 逆磁歪式振動発電の普及に向けた Fe-Co-Si-Bアモルファス合金の研究
3. 学会等名 日本セラミックス協会マテリアル・ファブリケーション&プロダクション・デザイン研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 久松 美佑、小杉 静花、藤枝 俊、清野 智史、中川 貴
2. 発表標題 CuxCo1-xFe204の磁歪特性に及ぼす加熱急冷処理の影響
3. 学会等名 日本セラミックス協会マテリアル・ファブリケーション&プロダクション・デザイン研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岡田 拓、藤枝 俊、Tang Zansong、Huang Haodong、鈴木 清策、清野 智史、中川 貴
2. 発表標題 Co添加したFe-Si-Bアモルファス合金の振動発電特性
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 久松 美佑、小杉 静花、藤枝 俊、清野 智史、中川 貴
2. 発表標題 CuxCo1-xFe204の結晶構造と磁歪特性の関係
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小杉 静花、久松 美佑、藤枝俊、寺井 智之、大石 佑治、牟田 浩明、清野 智史、中川 貴
2. 発表標題 Cu-Coフェライト単結晶の育成とその磁歪特性
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 T. Sugiyama, T. Okada, S. Fujieda, S. Seino, T. Nakagawa, Y. Ohishi, and H. Muta
2. 発表標題 Application of various materials with negative saturation magnetostriction to vibration power generation
3. 学会等名 Intermag 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤枝 俊、藤原康太、小杉静花、清野智史、中川 貴
2. 発表標題 Cu _{0.5} Co _{0.5} Fe ₂ O ₄ の磁歪特性に及ぼす CuのZn部分置換の影響
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉山 太一、岡田 拓、清野 智史、中川 貴、大石 佑治、牟田 浩明、藤枝 俊
2. 発表標題 負の磁歪材料のユニモルフU字型デバイスへの応用
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小杉 静花、久松 美佑、藤枝 俊、大石 佑治、牟田 浩明、清野 智史、中川 貴
2. 発表標題 Cu _x Co _{1-x} Fe ₂ O ₄ の磁歪特性の温度依存性
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤枝 俊、杉山太一、岡田 拓、清野 智史、中川 貴、大石 佑治、牟田 浩明
2. 発表標題 ユニモルフU字型デバイスにおける逆磁歪材料の設置方法と振動発電特性の関係
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 久松 美佑、鈴木 光太郎、小杉 静花、藤枝 俊、大石 佑治、清野 智史、牟田 浩明、中川 貴
2. 発表標題 Cu _{0.5} Co _{0.5} Fe ₂ O ₄ の磁歪特性に及ぼすFeのMn部分置換の影響
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田 拓、藤枝 俊、太田 元基、清野 智史、中川 貴
2. 発表標題 アモルファス合金のユニモルフU字型振動発電デバイスへの応用
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤枝 俊
2. 発表標題 磁性と弾性の相互作用を利用した応用技術と材料の開発
3. 学会等名 日本金属学会 / 日本鉄鋼協会 九州支部秋季講演会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤枝 俊
2. 発表標題 磁気工学の基礎 物性と材料特性
3. 学会等名 電気学会産業応用部門大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田拓、藤枝俊、清野智史、中川 貴
2. 発表標題 直接および間接測定による逆磁歪効果に起因した磁束密度変化の比較
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Okada, S. Fujieda, S. Seino, and T. Nakagawa
2. 発表標題 Evaluation of magnetic flux density change for vibrationenergy harvesting: Comparison between direct and indirect measurements
3. 学会等名 Intermag 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤枝 俊、藤原康太、小杉静花、清野智史、中川 貴
2. 発表標題 立方晶スピネルフェライト $Zn_xCu_{0.5-x}Co_{0.5}Fe_{2O_4}$ の磁歪特性
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田拓、藤枝 俊、清野 智史、中川 貴
2. 発表標題 振動発電に向けた一定磁場中での動的応力による磁束密度変化の評価
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤枝 俊、久松美佑、小杉静花、 清野智史、中川 貴
2. 発表標題 CuxCo1-xFe204の磁歪特性と結晶構造の関係
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田拓、藤枝俊、鈴木茂、清野智史、中川貴
2. 発表標題 方向性電磁鋼板の振動発電特性に及ぼす大型化の効果
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原康太、小杉静花、藤枝 俊、清野智史、中川 貴
2. 発表標題 Cu _{0.5} Co _{0.5} Fe ₂₀₄ におけるCuのZn部分置換による磁歪特性への影響
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤枝 俊、門田 優哉、清野 智史、中川 貴
2. 発表標題 Fe _{0.3} Co _{0.7} 合金の逆磁歪効果による磁束密度変化に及ぼす熱処理の影響
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小杉 静花、久松 美佑、藤枝 俊、大石 佑治、清野 智史、牟田 浩明、中川 貴
2. 発表標題 Cu _x Co _{1-x} Fe ₂ O ₄ の磁歪特性のCu置換量依存性
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤枝 俊、岡田 拓、杓 修一郎、石山和志、鈴木 茂、清野智史、中川 貴、山本孝夫
2. 発表標題 振動発電デバイスに搭載した方向性電磁鋼板の磁束密度変化
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤枝 俊
2. 発表標題 磁気と弾性の相互作用を利用した振動発電
3. 学会等名 応用物理学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田 拓、藤枝 俊、鈴木 茂、清野 智史、中川 貴
2. 発表標題 方向性電磁鋼板の振動発電特性に及ぼす圧延方向の影響
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤枝 俊、井上森平、岡田 拓、杢 修一郎、石山和志、鈴木 茂、清野 智史、中川 貴、山本孝夫
2. 発表標題 高飽和磁束密度のFe-Co-V合金の振動発電への応用
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 門田優哉、藤枝 俊、清野智史、中川 貴、山本孝夫
2. 発表標題 Fe-Co合金の応力-ひずみ特性に及ぼす逆磁歪効果の影響
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田 拓、藤枝 俊、鈴木 茂、清野 智史、中川 貴
2. 発表標題 方向性電磁鋼板を用いた振動発電デバイスの大型化と発電特性との関係
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Fujieda, N. Gorai, T. Kawamata, R. Simura, T. Fukuda and S. Suzuki
2. 発表標題 Vibration power generation using Fe-Ga alloy single crystal
3. 学会等名 Thermec (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤枝俊
2. 発表標題 交差相関効果の制御による磁気機能性材料の開発 逆磁歪効果の振動発電への応用
3. 学会等名 日本金属学会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田 拓、藤枝 俊、 柁修一郎、 石山和志、 鈴木 茂、清野智史、中川 貴、山本孝夫
2. 発表標題 方向性電磁鋼板のユニモルフU字型振動発電デバイスへの応用
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤枝 俊、井上森平、岡田 拓、長内史也、柁 修一郎、石山和志、清野智史、中川 貴、山本孝夫
2. 発表標題 Fe-Co基合金を搭載した振動発電デバイスの発電特性におよぼすバイアス磁場の影響
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤枝 俊、川又 透、志村玲子、鈴木 茂、杵修一郎、石山和志、熊谷 毅、福田承生、豊木研太郎、小谷佳範、中村哲也
2. 発表標題 振動発電用の逆磁歪材料の開発
3. 学会等名 電気学会 ナノスケール磁性体を用いた機能性材料開発調査専門委員会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上森平、岡田拓、藤枝 俊、長内史也、杵修一郎、石山和志、清野智史、中川 貴、山本孝夫
2. 発表標題 Fe-Co基合金の磁気特性および磁歪特性に及ぼす引張り応力印加の影響
3. 学会等名 日本金属学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 鈴木 雄二、秋永 広幸、神野 伊策、篠原 真毅、竹内 敬治、八馬 弘邦、舟橋 良次、宮崎 康次	4. 発行年 2021年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 528
3. 書名 環境発電ハンドブック 第2版	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------